

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Einführung	1
1.2	Thermodynamische und kinetische Grundlagen	3
1.2.1	Temperatur und thermische Energie	3
1.2.2	Grundbegriffe der Thermodynamik und Kinetik von Reaktionen	5
1.2.3	Thermodynamische Triebkraft	7
1.2.4	Reaktionskinetik	8
1.3	Diffusion	11
1.3.1	Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten	11
1.3.2	Diffusion in Substitutionsmischkristallen	18
1.3.3	Diffusion entlang von Gitterfehlern	20
1.3.4	Diffusion in geordneten Gittern	23
1.4	Grundlagen der Wärmeübertragung	24
1.4.1	Begriffe	24
1.4.2	Wärmedurchgang durch eine Wand	25
	Literatur	34
2	Gefügestabilität	37
2.1	Erholung	37
2.2	Rekristallisation	42
2.2.1	Allgemeines	42
2.2.2	Kinetik der Rekristallisation	43
2.2.3	Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten der Rekristallisation	44
2.3	Kornvergrößerung	54
2.4	Ausscheidungsvorgänge	60
2.4.1	Allgemeines	60
2.4.2	Energiebilanz bei Ausscheidungsvorgängen	63
2.5	Teilchenvergrößerung/Ostwald-Reifung	70
2.6	Gefügebedingte Volumenänderungen	78
	Literatur	81

3	Hochtemperaturfestigkeit und -verformung	83
3.1	Allgemeines	83
3.2	Grundlagen der Hochtemperaturverformung	84
3.3	Kriechen	89
3.3.1	Kriechkurve	90
3.3.2	Darstellungsformen der Kriech- und Zeitstanddaten und Aspekte der Bauteilauslegung	93
3.4	Versetzungskriechen	98
3.4.1	Mikrostrukturelle Interpretation	98
3.4.2	Gesetzmäßigkeiten des Versetzungskriechens	100
3.5	Kornrenzengleiten	110
3.6	Diffusionskriechen	113
3.7	Verformungsmechanismuskarten	118
3.8	Kriechen von Legierungen	121
3.8.1	Mischkristallhärtung	121
3.8.2	Teilchenhärtung	127
3.8.3	Kriechen geordneter intermetallischer Phasen	139
3.9	Bruchmechanismuskarten	140
3.10	Kriechschädigung und Kriechbruch	142
3.10.1	Transkristalline Kriechschädigung	143
3.10.2	Interkristalline Kriechschädigung	143
3.10.3	Tertiäres Kriechen	156
3.11	Einfluss der Kornform auf die Zeitstandeigenschaften	157
3.12	Kriechverhalten von Einkristallen	160
3.13	Extrapolation von Zeitstandergebnissen	161
3.14	Zeitstandfestigkeitsnachweis bei veränderlichen Beanspruchungen	166
3.15	Spannungsrelaxation	167
3.16	Kerbzeitstandverhalten	173
3.17	Entwicklung und Auswahl kriechfester Werkstoffe	180
	Literatur	184
4	Zyklische Festigkeit und Verformung	189
4.1	Begriffe und Einführung	189
4.2	Ermüdung bei tiefen Temperaturen	196
4.3	Ermüdung bei hohen Temperaturen	200
4.4	Schädigung und Bruch unter zyklischen Belastungen	208
4.5	Lebensdauerabschätzung für zyklische Belastungskollektive	209
4.6	Lebensdauerabschätzung für kombinierte Kriech- und Ermüdungsbean- spruchung	210
4.7	Thermische Ermüdung	217
4.7.1	Einführung und Definition	217
4.7.2	Wärmedehnung und Wärmespannung	219

4.7.3	Prüftechniken zur thermischen Ermüdung	228
4.7.4	Einflussgrößen auf die thermische Ermüdung	233
	Literatur	242
5	Hochtemperaturkorrosion	245
5.1	Begriffe	245
5.2	Thermodynamik der Metall/Gas-Reaktionen	246
5.3	Oxidation	252
5.3.1	Einführung und Begriffe	252
5.3.2	Kinetik der Oxideckschichtbildung	252
5.3.3	Mechanismen des Deckschichtwachstums	257
5.3.4	Oxidation von Legierungen	262
5.3.5	Deckschichten auf Legierungen	264
5.3.6	Zyklisches Oxidationsverhalten	268
5.3.7	Haftung von Deckschichten und Aktivelementeffekte	271
5.3.8	Plastisches Verhalten von Oxideckschichten	273
5.3.9	Korngrenzenzerfall (Pest)	274
5.3.10	Zundergrenze	275
5.4	Aufkohlung	276
5.4.1	Allgemeines	276
5.4.2	Besondere Erscheinungsformen der Aufkohlung	280
5.5	Entkohlung	282
5.6	Aufstickung	283
5.7	Aufschwefelung	285
5.8	Heißgaskorrosion	288
5.8.1	Begriffe und Einführung	288
5.8.2	Korrosive Substanzen bei Verbrennungsprozessen	290
5.8.3	Prüfmethoden	292
5.8.4	Mechanismen der Heißgaskorrosion	295
5.8.5	Zusammenfassung und Aspekte der Werkstoffwahl	308
5.9	Erosion-Korrosion-Wechselwirkungen	312
5.10	Korrosionsbedingte Volumenänderungen	312
5.11	Wechselwirkungen zwischen Korrosion und mechanischen Eigenschaften	313
	Literatur	317
6	Hochtemperaturlegierungen	319
6.1	Definition und Anwendungsgebiete	319
6.2	Beanspruchungen und Werkstoffanforderungen	320
6.3	Auswahlkriterien für Basiselemente und Übersicht über Hochtemperatur-Werkstoffgruppen	322

6.4	Hochtemperaturlegierungen auf Fe-Basis	327
6.4.1	Übersicht	327
6.4.2	Hitzebeständige Stähle	328
6.4.3	Warmfeste Stähle	334
6.4.4	Hochwarmfeste Stähle	335
6.5	Hochtemperaturlegierungen auf Co-Basis	341
6.5.1	Allgemeines und Vergleich	341
6.5.2	Legierungsaufbau, Gefüge und Eigenschaften	342
6.6	Hochtemperaturlegierungen auf Ni-Basis	347
6.6.1	Allgemeines und Vergleich	347
6.6.2	Mikroseigerungsverhalten bei der Erstarrung	352
6.6.3	Phasen in Ni-Basislegierungen	357
6.6.4	Wärmebehandlung γ' -gehärteter Ni-Basislegierungen	377
6.6.5	Korrosionseigenschaften	392
6.6.6	Berechnung von Volumenanteilen der γ' -Phase	394
6.7	Gerichtet erstarrte Superlegierungen	397
6.7.1	Allgemeines	397
6.7.2	Herstellung	399
6.7.3	Besondere Eigenschaften gerichtet erstarrter Legierungen	407
6.7.4	Rekristallisation gerichtet erstarrter Bauteile	413
6.8	Gerichtet rekristallisierte Dispersions-Superlegierungen	414
6.8.1	Allgemeines	414
6.8.2	Legierungstypen	415
6.8.3	Herstellung	417
6.8.4	Rekristallisation	419
6.8.5	Legierungsaufbau und besondere Eigenschaften	421
6.8.6	Blechlegierungen	423
6.8.7	Korrosions- und Beschichtungsverhalten	424
6.9	Hochschmelzende Legierungen	425
6.9.1	Allgemeines	425
6.9.2	Festigkeitssteigerung und Legierungsaufbau	428
6.9.3	Aktuelle Entwicklungen	429
6.10	Intermetallische Phasen als Konstruktionswerkstoffe	430
6.10.1	Allgemeines	430
6.10.2	Klassifizierung der intermetallischen Phasen	431
6.10.3	Besondere Eigenschaften der intermetallischen Phasen	434
6.10.4	Potenzielle intermetallische Konstruktionswerkstoffe	437
6.11	Edelmetalllegierungen	444
6.12	Verunreinigungen und Reinheitsgradverbesserung	445
6.12.1	Allgemeines	445
6.12.2	Einflüsse von Verunreinigungen auf die Eigenschaften	445
6.12.3	Maßnahmen zur Reinheitsgradverbesserung	449

6.13	Vergleich von Hochtemperaturwerkstoffen und Aspekte der Werkstoffauswahl	451
	Literatur	458
7	Hochtemperatur-Korrosionsschutzschichten	465
7.1	Hochtemperatur-Korrosionsschutzschichten	465
7.1.1	Funktion	465
7.1.2	Beanspruchungen und Anforderungen	466
7.1.3	Beschichtungsverfahren	467
7.1.4	Beschichtungsarten und Eigenschaften	480
7.1.5	Thermisch-mechanisches Verhalten beschichteter Bauteile	489
7.2	Wärmedämmschichten	500
7.2.1	Funktion	500
7.2.2	Anforderungen	504
7.2.3	Beschichtungsverfahren zur Applikation von Keramiken	505
7.2.4	Arten und Eigenschaften	505
	Literatur	513
8	Maßnahmen an betriebsbeanspruchten Bauteilen	517
8.1	Zustandsbeurteilungen	517
8.2	Rekonditionierungsmaßnahmen	523
	Literatur	526
9	Werkstoffbezeichnungen und -zusammensetzungen	527
9.1	Chemische Zusammensetzungen ausgewählter Legierungen	527
9.2	Handelsnamen	537
	Umrechnung von Einheiten	539
	Umrechnung gängiger Einheiten in der Werkstofftechnik	541
	Sachverzeichnis	543